

**市有建築物の ZEB 化設計指針**  
**【モデル施設の検証／標準設計】**

北九州市  
令和 8 年 6 月

## 目次

1. 体育館モデル - 2 -
  - (1) 施設概要 - 2 -
  - (2) ベースケースの諸条件整理 - 2 -
  - (3) ベースケースと比較ケースの詳細 - 5 -
  - (4) ZEB 化のための省エネ計算の試算分析 - 15 -
  - (5) ライフサイクルコストシミュレーション結果の分析 - 19 -
  - (6) 体育館施設の改修工事における標準設計 - 21 -
  - (7) 設計意図の伝達事項 - 23 -
  
2. 学校校舎モデル - 24 -
  - (1) 施設概要 - 24 -
  - (2) ベースケースの諸条件整理 - 24 -
  - (3) ベースケースと比較ケースの詳細 - 27 -
  - (4) ZEB 化のための省エネ計算の試算分析 - 31 -
  - (5) ライフサイクルコストシミュレーション結果の分析 - 40 -
  - (6) 学校施設の改修工事における標準設計 - 42 -
  - (7) 設計意図の伝達事項 - 44 -
  
3. 区役所モデル - 45 -
  - (1) 施設概要 - 45 -
  - (2) ベースケースの諸条件整理 - 45 -
  - (3) ベースケースと比較ケースの詳細 - 48 -
  - (4) ZEB 化のための省エネ計算の試算分析 - 55 -
  - (5) ライフサイクルコストシミュレーション結果の分析 - 63 -
  - (6) 区役所施設の改修工事における標準設計 - 66 -
  - (7) 設計意図の伝達事項 - 68 -
  
4. 集会施設モデル - 69 -
  - (1) 施設概要 - 69 -
  - (2) ベースケースの諸条件整理 - 69 -
  - (3) ベースケースと比較ケースの詳細 - 72 -
  - (4) ZEB 化のための省エネ計算の試算分析 - 74 -
  - (5) ライフサイクルコストシミュレーション結果の分析 - 80 -
  - (6) 集会施設の改修工事における標準設計 - 83 -
  - (7) 設計意図の伝達事項 - 85 -

# 1. 体育館モデル

## (1) 施設概要

所在地:北九州市

用途:中学校

構造階数:RC造 一部S造 地上2階建

建築面積:697.50 m<sup>2</sup>

延床面積:711.00 m<sup>2</sup>

完成年:1993年

地域区分:6地域

日射区分:A4区分



写真 2.1-1 内観イメージ

## (2) ベースケースの諸条件整理

本ベースケースは、北九州市における既存小中学校体育館の一般的な仕様の状態で空調導入を行う場合として設定し、断熱改修により空調のダウンサイジングを行う ZEB 化仕様との違いを明確にすることを目的とする。

体育館は大空間・高天井・低稼働という特性を有し、校舎とは負荷形態が異なる。換気量を適正に設定すれば、外皮負荷が最も大きい。従って、「断熱がない状態で空調が設置されている体育館」を起点とする。

項目	ベースケース仕様
外皮	<ul style="list-style-type: none"> <li>・屋根 断熱材なし</li> <li>・外壁 断熱材なし</li> <li>・開口部 単板ガラス+金属製建具</li> </ul>
空調	・ビル用マルチ(天吊り型室内機)+壁付換気扇
換気	なし
照明	<ul style="list-style-type: none"> <li>・LED 照明</li> <li>・人感センサー制御なし、昼光センサー制御なし、スケジュール制御なし</li> </ul>
給湯	なし
昇降機	なし

表 2.1-1 体育館のベースケース仕様

## 1)外皮(外壁・屋根・床・開口部)の考え方

外皮は、屋根・外壁ともに断熱材なし、開口部は単板ガラス+金属製建具を基準とする。これは、市内既存体育館の多くが無断熱仕様で建設されている実態を踏まえ、断熱改修による効果を無断熱状態からの改善量として明確に把握するためである。

外皮負荷の算定対象は、1階の他に2階バルコニーの外壁および窓、アリーナ屋根および床とし、アリーナ空間を一体として評価する。これは、2階バルコニーや高所開口部の影響も含めて負荷を把握するという検討方針に基づく。内壁や部分的な断熱要素については、費用対効果や空調容量への影響が限定的であること、省エネ計算における外皮でないことから、検討に含めない。

## 2)空調設備の考え方

体育館アリーナには、ビル用マルチによる空調を設置する。室内機は天吊り型とし、想定熱負荷に基づき必要台数を設置する。ビル用マルチは冷暖切替型とし、メーカーのラインナップの中で最もCOPの高い機種を採用した。なお、室内機の直近に室外機設置が可能と想定したこと、また実施設計ではないことから、配管長や室外機と室内機の高低差等による室外機的能力補正はしていない。

さらに、モデル施設に設置されている2階バルコニーの有圧換気扇6台(風量不明)は撤去の上外壁を封鎖し、後述する人員数に基づく最低限の外気を供給する壁付換気扇4台を想定した。これは、風量不明の有圧換気扇について、現在流通している有圧換気扇のサイズと比較した場合、計12,000 m<sup>3</sup>/hという大量の外気負荷が見込まれるため、空調設置とあわせて適正な風量の換気機器に改修するシナリオとした。

外皮負荷は、1)の考え方に基づき算定した。内部負荷については、照明負荷は3)に述べるLED照明の想定に基づき、5W/m<sup>2</sup>、機器負荷はなし、人体負荷は、中学校2クラスの授業を想定し、中学生80人および教諭1人の計81人で算定し

た。外気負荷は、中学生 15 m<sup>3</sup>/h 人および大人 20 m<sup>3</sup>/h を定める学校環境衛生管理マニュアル(技術規準)に基づき、1,220 m<sup>3</sup>/h と設定した。

### 3)照明設備の考え方

体育館アリーナ照明については、市内小中学校の既存体育館で LED 化が一定程度進んでいる実態を踏まえ、LED 型マルチハロゲン灯 400 形とする。

一方で、人感センサー制御、昼光センサー制御、スケジュール制御等の照明制御は、体育館での普及が限定的であることから、検討に含めない。照明制御によるさらなる省エネルギー効果は、外皮・空調改修と併せて検討する個別プロジェクト側の要素とする。

### 4)その他設備の扱い

給湯設備、昇降機等は、体育館単体では原則設置されていないため、検討に含めない。

### (3) ベースケースと比較ケースの詳細

本検討では、学校体育館を対象に、外皮断熱および空調方式の組み合わせによる①～⑨の各ケースを設定し、冷房負荷、空調機容量、BEI を中心に比較を行った。

①はベースケース(断熱なし)、②～⑦は屋根に断熱を付加、既存開口部に内窓を設置、外壁に外断熱を付加という順に断熱を強化するが、断熱厚さが 50mm か 100mm かの場合分けを行った。さらに、⑧は⑦を元に壁付換気扇ではなく全熱交換器を設置するケース、⑨は⑧を元に 1 階開口部の 100%および 2 階開口部の 50%を壁化するケースとした。各ケースの考え方と詳細をそれぞれ下の図表に示す。

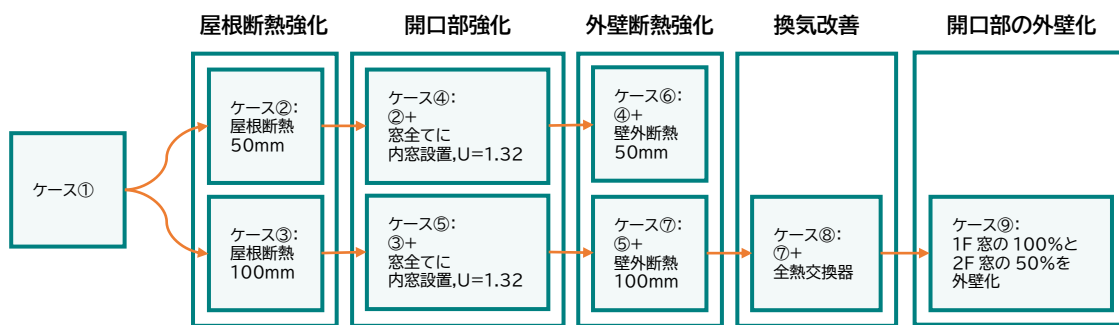


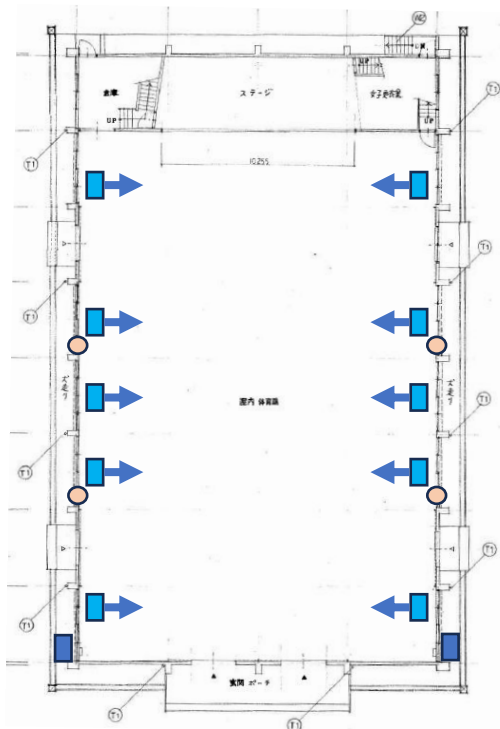
図 2.1-1 各ケースの考え方

	断熱パターン			空調パターン	冷房熱負荷 【削減率】	空調冷房能力 (室外機/室内機)	BEI			BPI
	屋根	窓	外壁				空調	照明		
①	断熱なし	断熱なし	断熱なし	ビルマル(超高効率) +換気扇	129kW 【基準】	67kW×2 14kW×10	0.49	0.49	0.40	0.99
②	屋根外断熱 50mm	断熱なし	断熱なし	ビルマル(超高効率) +換気扇	77kW 【▲40%】	45kW×2 11.2kW×8	0.35	0.35	0.40	0.83
③	屋根外断熱 100mm	断熱なし	断熱なし	ビルマル(超高効率) +換気扇	74kW 【▲43%】	40kW×2 11.2kW×8	0.33	0.33	0.40	0.82
④	屋根外断熱 50mm	内窓設置 (すべての窓)	断熱なし	ビルマル(超高効率) +換気扇	68kW 【▲47%】	40kW×2 9kW×8	0.33	0.32	0.40	0.77
⑤	屋根外断熱 100mm	内窓設置 (すべての窓)	断熱なし	ビルマル(超高効率) +換気扇	65kW 【▲50%】	33.5kW×2 9kW×8	0.29	0.28	0.40	0.76
⑥	屋根外断熱 50mm	内窓設置 (すべての窓)	壁外断熱 50mm (建物全体)	ビルマル(超高効率) +換気扇	52kW 【▲60%】	28kW×2 9kW×6	0.26	0.24	0.40	0.64
⑦	屋根外断熱 100mm	内窓設置 (すべての窓)	壁外断熱 100mm (建物全体)	ビルマル(超高効率) +換気扇	47kW 【▲64%】	28kW×2 9kW×6	0.25	0.24	0.40	0.62
⑧	屋根外断熱 100mm	内窓設置 (すべての窓)	壁外断熱 100mm (建物全体)	ビルマル(超高効率) +全熱交換	38kW 【▲71%】	22.4kW×2 7.1kW×6	0.21	0.19	0.40	0.62
⑨	屋根外断熱 100mm	内窓設置+50%壁化 (すべての窓)	壁外断熱 100mm (建物全体)	ビルマル(超高効率) +全熱交換	35kW 【▲73%】	22.4kW×2 7.1kW×6	0.21	0.19	0.40	0.62

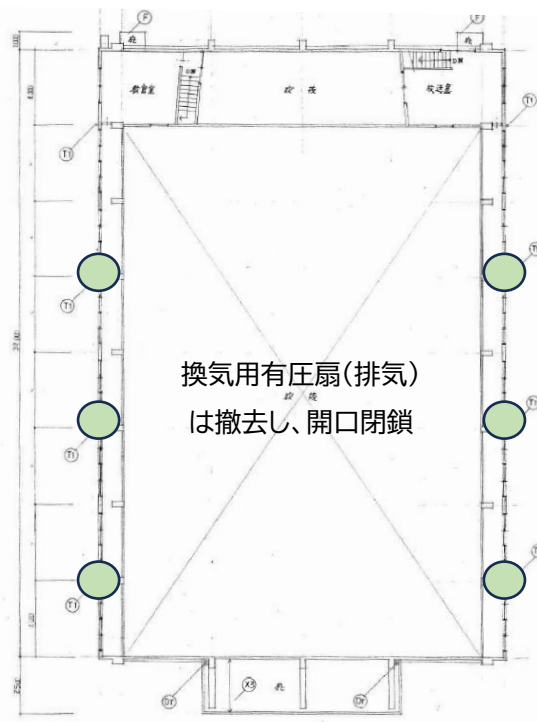
表 2.1-2 体育館の比較ケース  
照明はすべて LED(制御なし)にて試算

ケース①:外皮現状、超高効率空調+換気扇、LED照明(制御無)

熱負荷計算の結果、1階と2階のバルコニーを含む全体で129kWの冷房負荷となり、これに基づいて67kWの室外機2台と14kWの室内機10台を選定した。換気扇は305 m<sup>3</sup>/hを4台設置する想定とした。



1階平面図



2階平面図

■ :  
 空冷ヒートポンプビル用マルチ(冷暖切替)  
 室外機 67kW×2台(超高効率型)  
 室内機 天吊型 14kW×10台

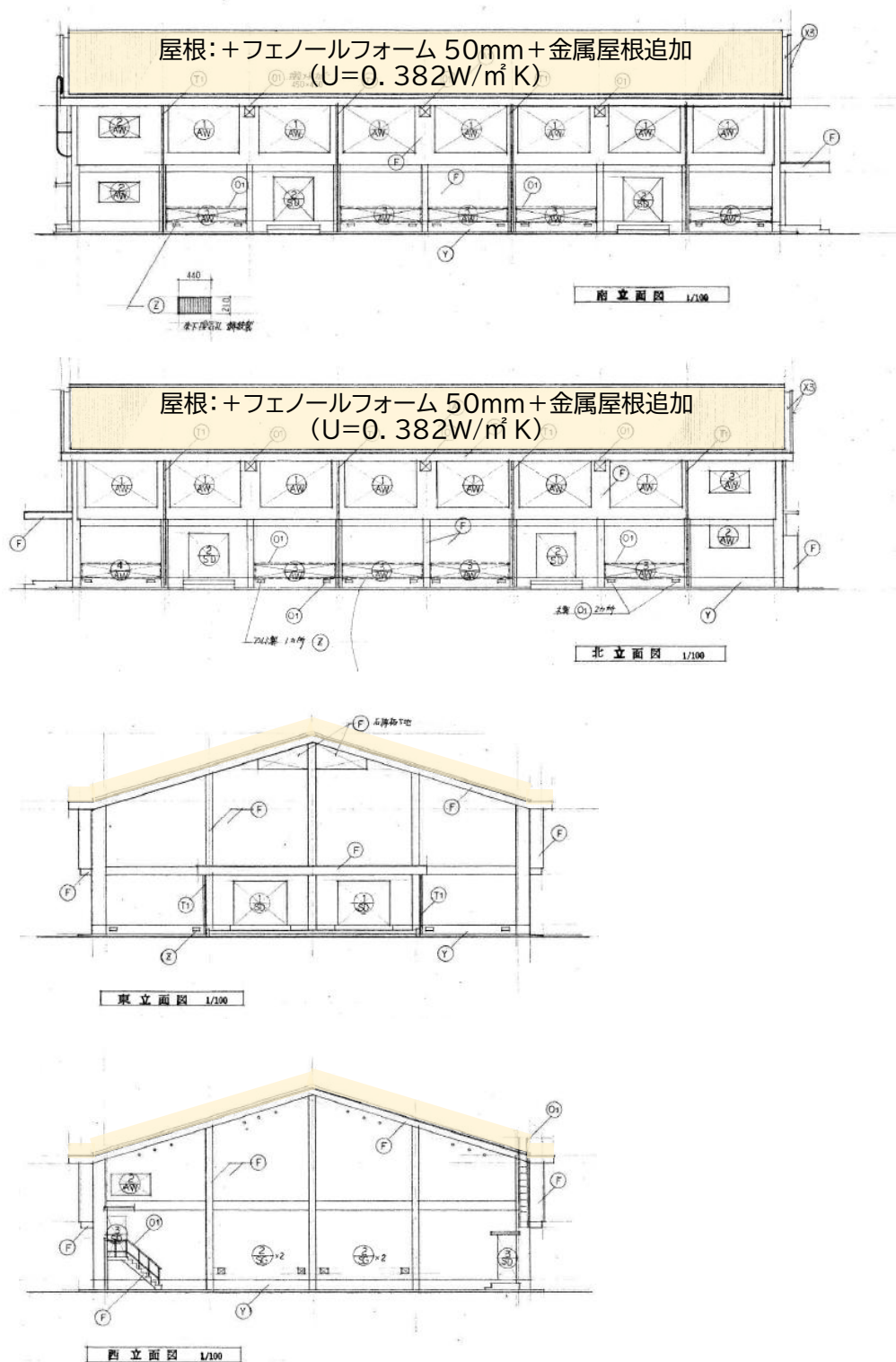
○ :  
 換気扇 305 m<sup>3</sup>/h×4台

● :  
 既存有圧扇

ケース②:屋根断熱 50mm、超高効率空調+換気扇、LED 照明(制御無)

部位	仕様
屋根断熱仕様	+フェノールフォーム 50mm +金属屋根追加 U=0.382W/㎡ K
外壁断熱仕様(バルコニー床とも)	現状
開口部仕様	現状

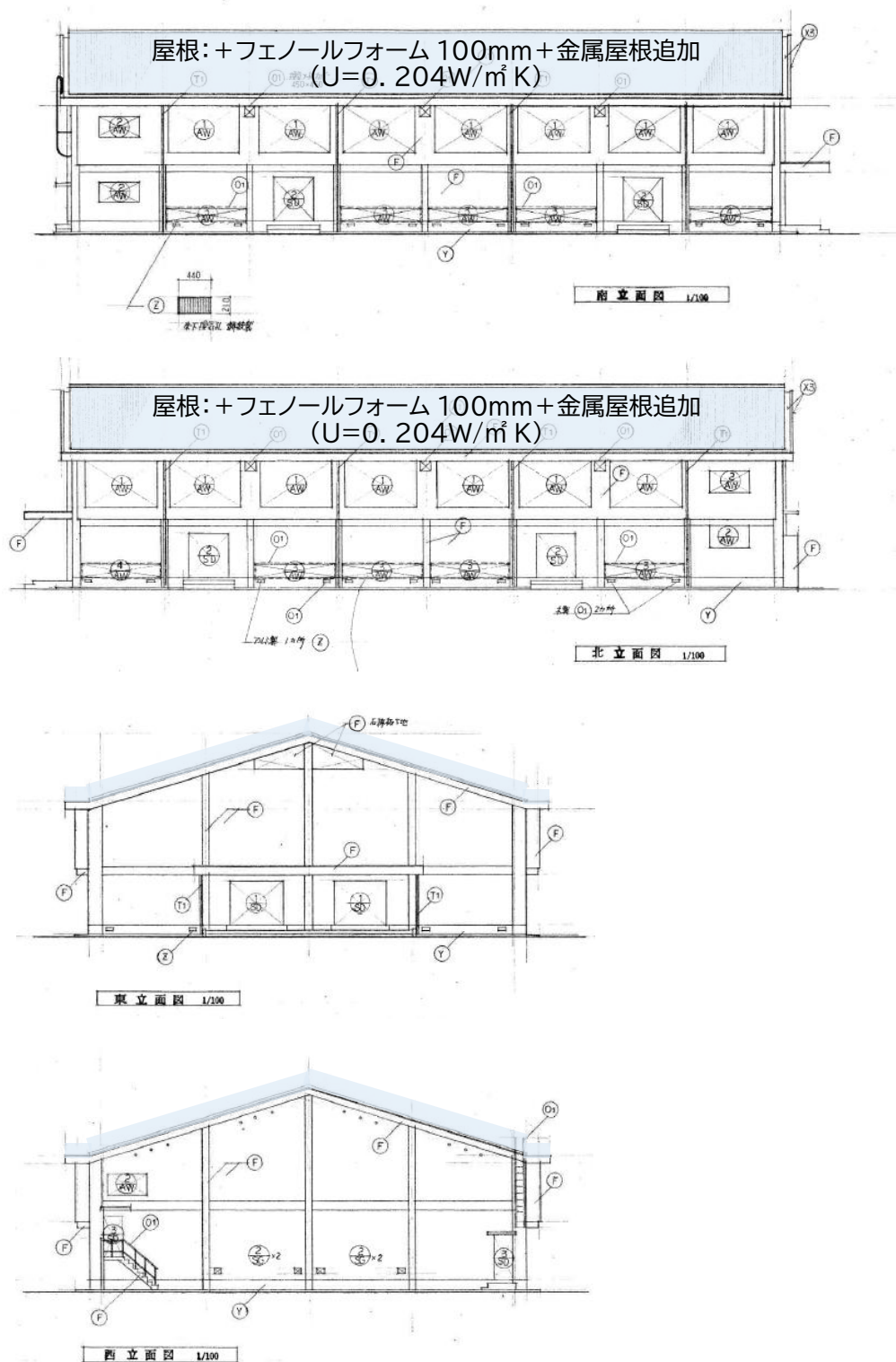
表 2.1-3 ケース②の部位別の仕様



ケース③:屋根断熱 100mm、超高効率空調+換気扇、LED 照明(制御無)

部位	仕様
屋根断熱仕様	+フェノールフォーム 100mm +金属屋根追加 U=0.204W/㎡ K
外壁断熱仕様(バルコニー床とも)	現状
開口部仕様	現状

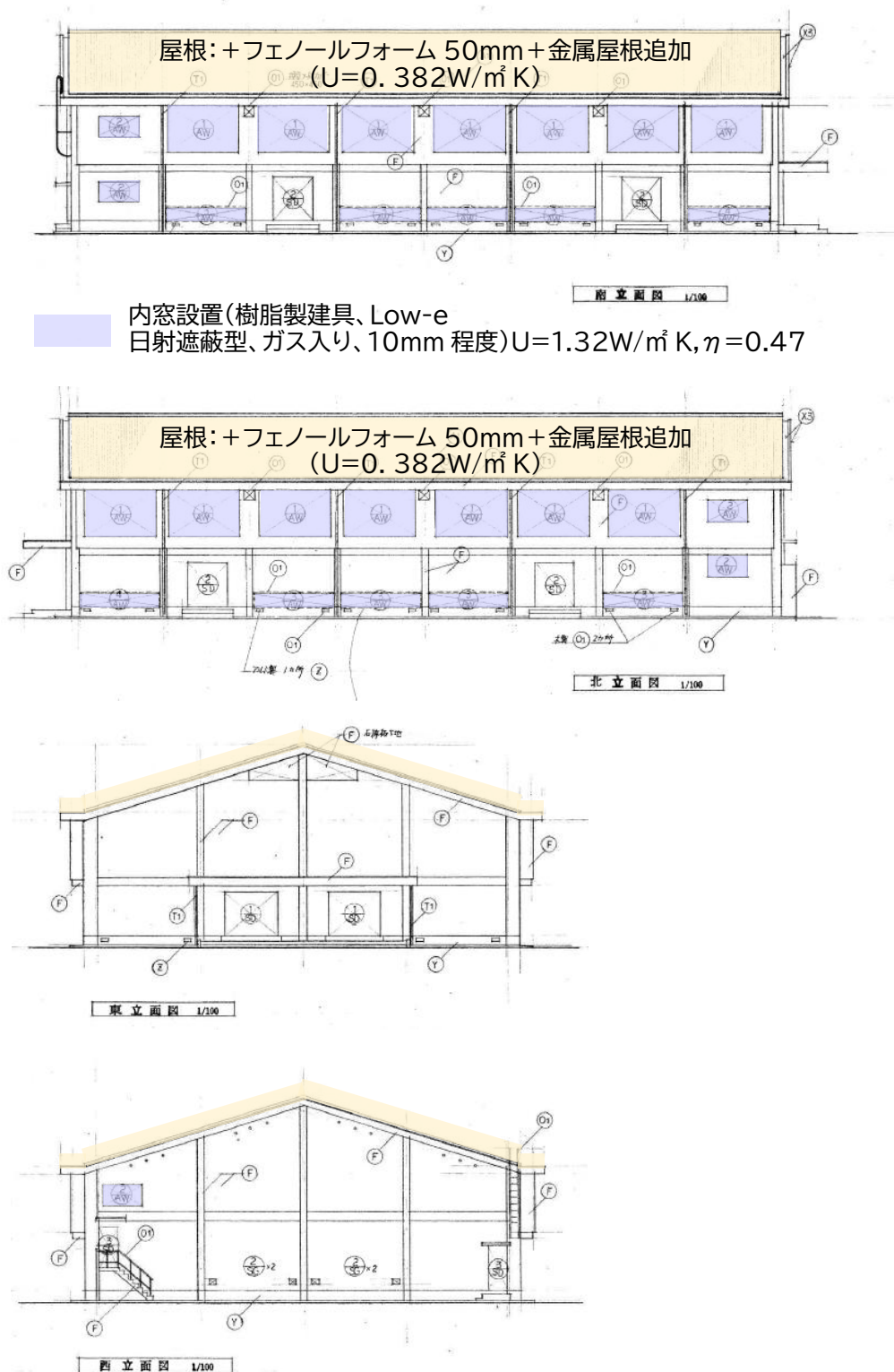
表 2.1-4 ケース③の部位別の仕様



ケース④:屋根断熱 50mm、内窓、超高効率空調+換気扇、LED 照明(制御無)

部位	仕様
屋根断熱仕様	+フェノールフォーム 50mm +金属屋根追加 U=0.382W/m <sup>2</sup> K
外壁断熱仕様(バルコニー床とも)	現状
開口部仕様	樹脂製建具、Low-e 日射遮蔽型、ガス入り、10mm 程度 二重窓の性能 U=1.32W/m <sup>2</sup> K, η=0.47

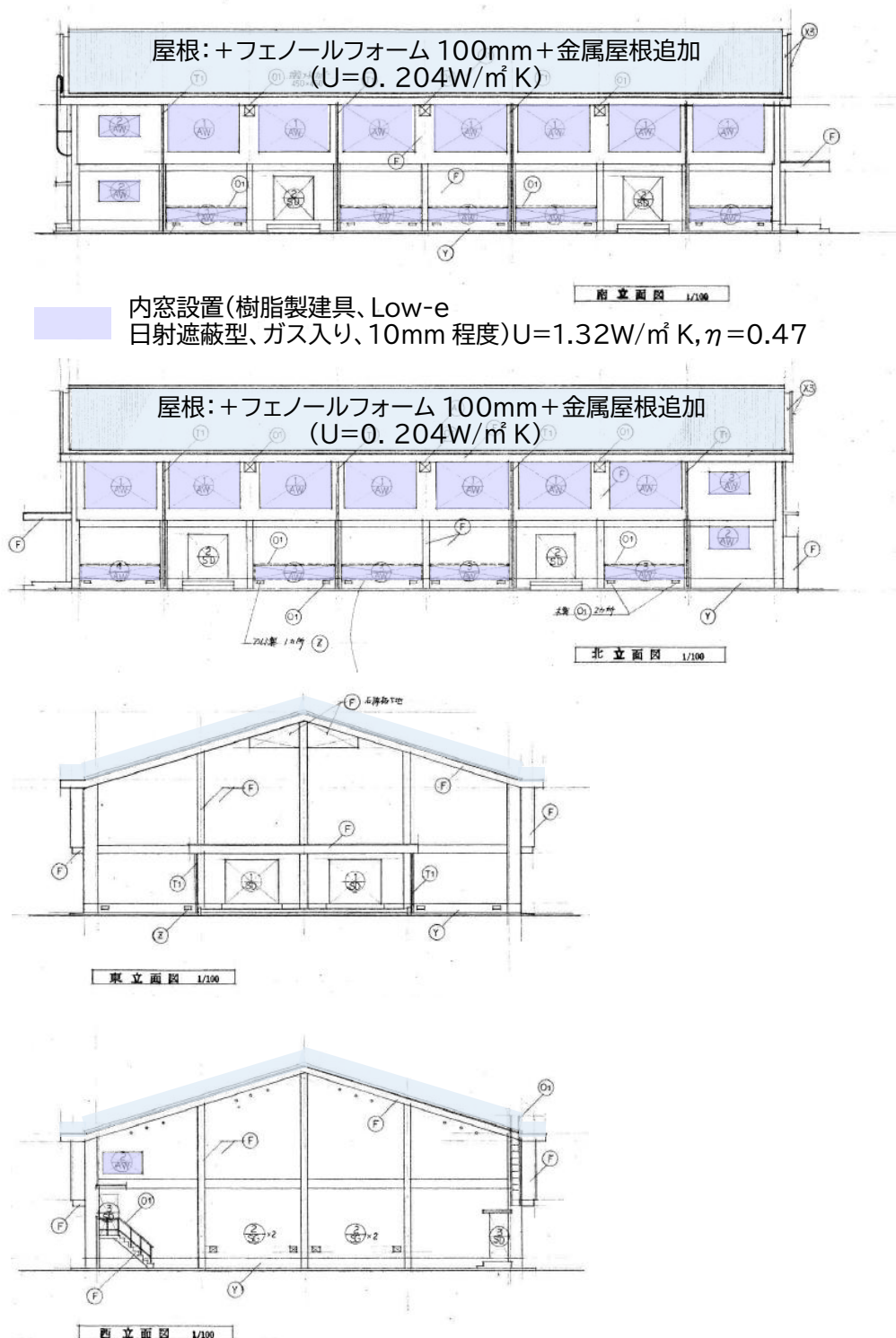
表 2.1-5 ケース④の部位別の仕様



ケース⑤:屋根断熱 100mm、内窓、超高効率空調+換気扇、LED 照明(制御無)

部位	仕様
屋根断熱仕様	+フェノールフォーム 100mm +金属屋根追加 $U=0.204W/m^2 K$
外壁断熱仕様(バルコニー床とも)	現状
開口部仕様	樹脂製建具、Low-e 日射遮蔽型、ガス入り、10mm 程度 二重窓の性能 $U=1.32W/m^2 K$ , $\eta=0.47$

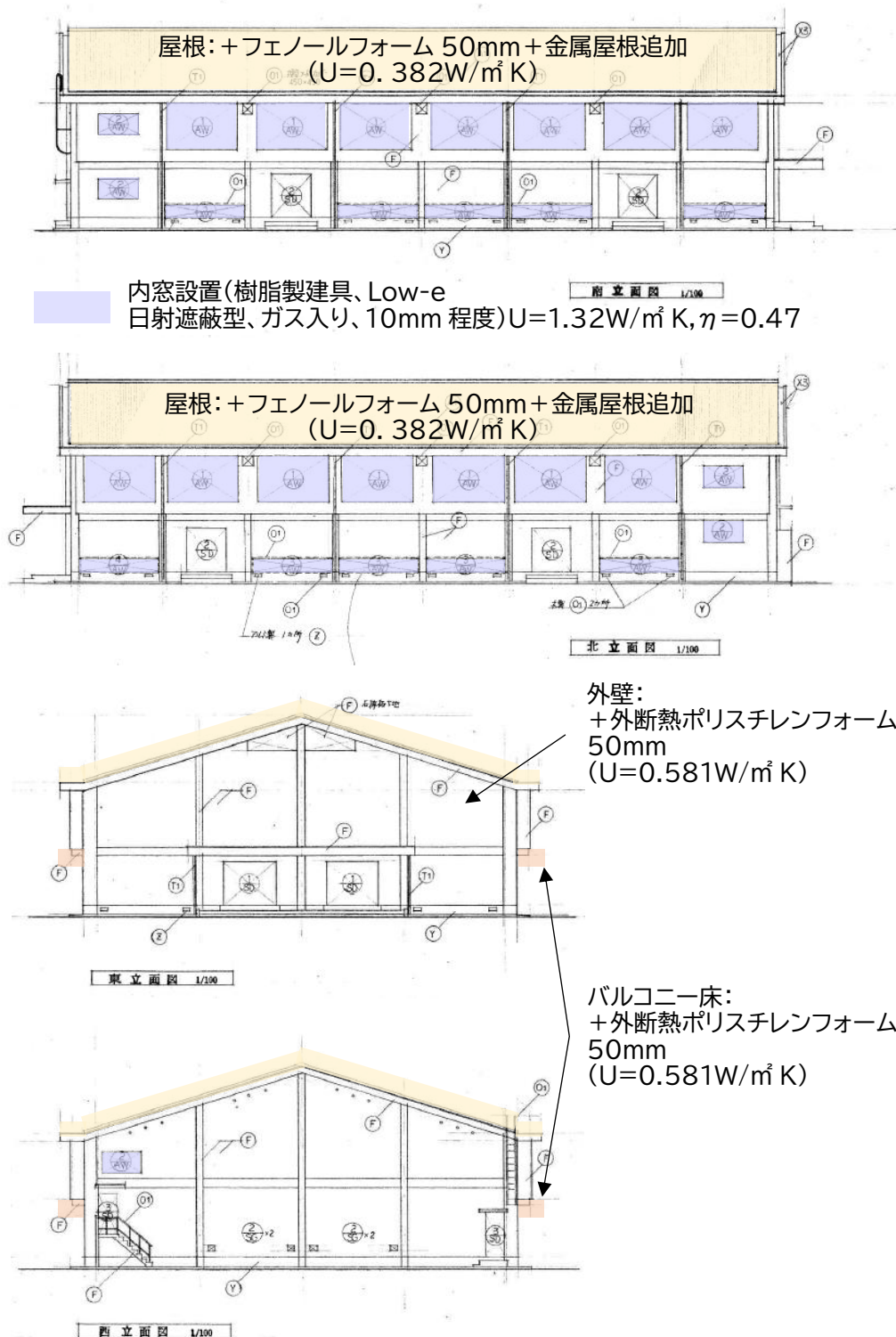
表 2.1-6 ケース⑤の部位別の仕様



ケース⑥:屋根断熱 50mm、外壁断熱 50mm、内窓、超高効率空調+換気扇、LED 照明(制御無)

部位	仕様
屋根断熱仕様	+フェノールフォーム 50mm +金属屋根追加 $U=0.382W/m^2 K$
外壁断熱仕様(バルコニー床とも)	+外断熱ポリスチレンフォーム 50mm $U=0.581W/m^2 K$
開口部仕様	樹脂製建具、Low-e 日射遮蔽型、ガス入り、10mm 程度 二重窓の性能 $U=1.32W/m^2 K, \eta=0.47$

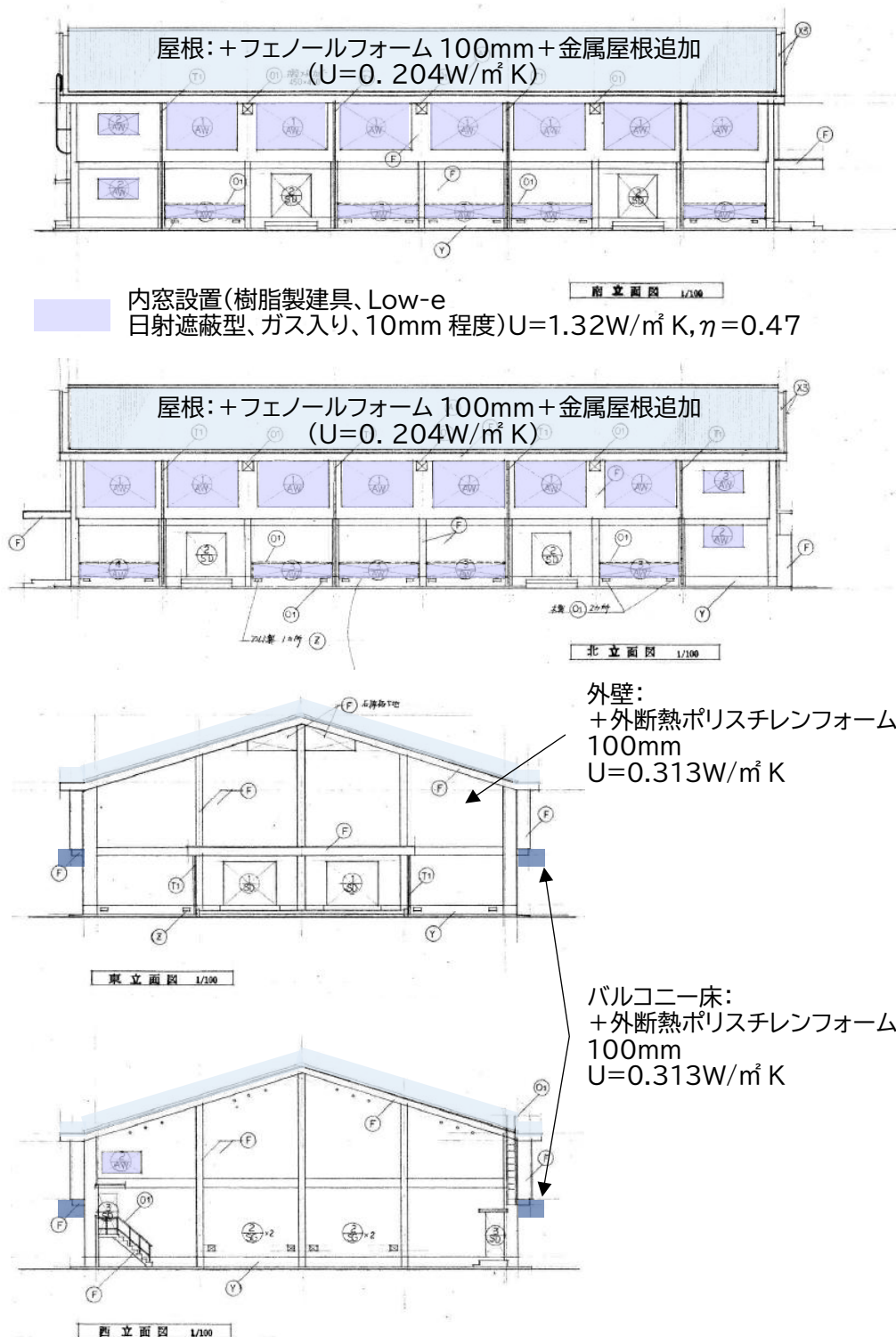
表 2.1-7 ケース⑥の部位別の仕様



ケース⑦:屋根断熱 100mm、外壁断熱 100mm、内窓、超高効率空調+換気扇、LED 照明(制御無)

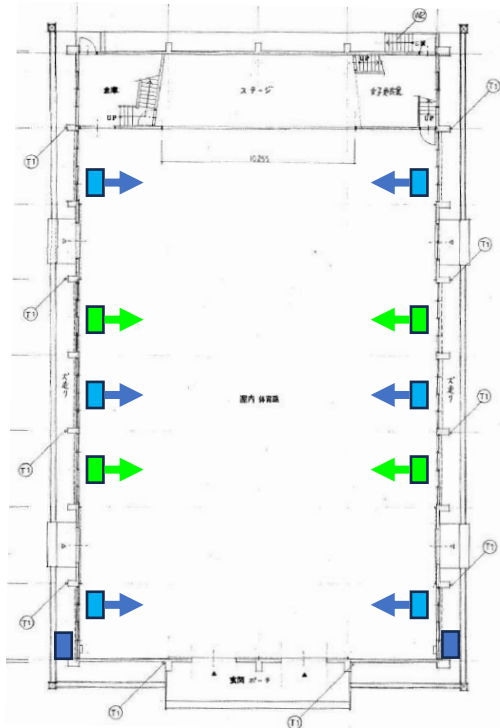
部位	仕様
屋根断熱仕様	+フェノールフォーム 100mm +金属屋根追加 $U=0.204W/m^2 K$
外壁断熱仕様(バルコニー床とも)	+外断熱ポリスチレンフォーム 100mm $U=0.313W/m^2 K$
開口部仕様	樹脂製建具、Low-e 日射遮蔽型、ガス入り、10mm 程度 二重窓の性能 $U=1.32W/m^2 K, \eta=0.47$

表 2.1-8 ケース⑦の部位別の仕様

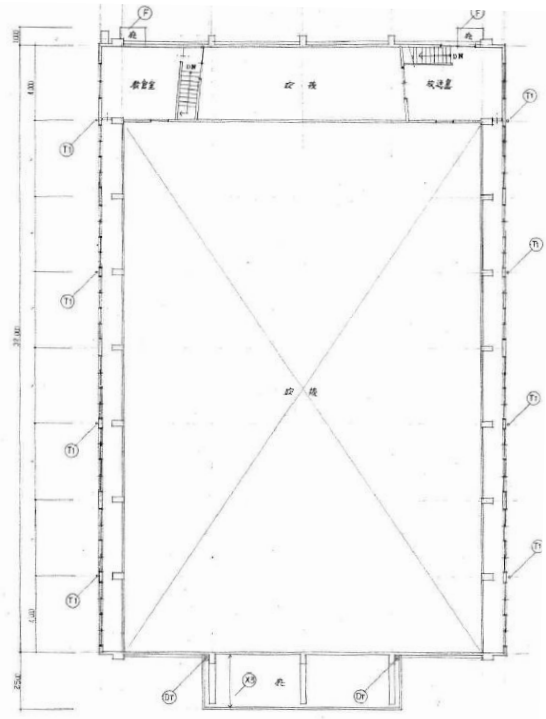


ケース⑧:屋根断熱 100mm、外壁断熱 100mm、内窓、超高効率空調+全熱交換器、LED 照明(制御無)

屋根、外壁とも 100mm の外断熱と内窓の設置により熱負荷が最大限低減されたケース⑦から発展させて、ケース⑧では換気扇ではなく 305 m<sup>3</sup>/h の全熱交換器を 4 台導入することで外気負荷を半減させ、さらなる空調設備のダウンサイジングを図る想定とした。



1 階平面図



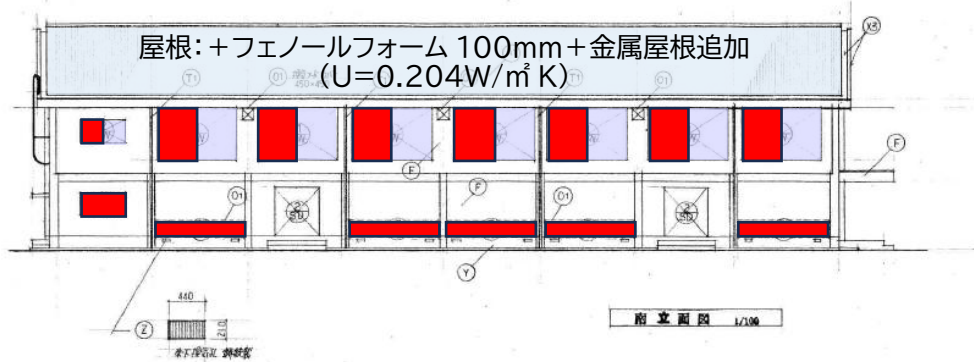
2 階平面図

■ :  
 空冷ヒートポンプビル用マルチ(冷暖切替)  
 室外機 22.4kW×2 台(超高効率型)  
 室内機 天吊型 7.1kW×6 台

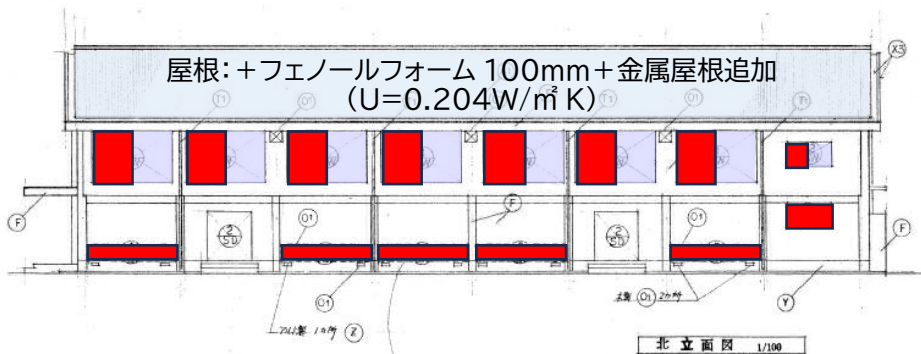
■ :  
 全熱交換器 305 m<sup>3</sup>/h×4 台

## ケース⑨:開口部の外壁化

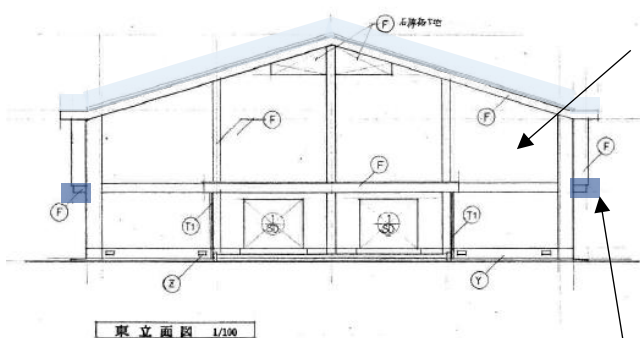
ケース②～⑦にて屋根、開口部、外壁の断熱性能を改善した結果、⑦の外皮負荷は①に比較して約 8 割削減された。しかし、外皮負荷の内、約半分が窓の貫流熱と日射熱に起因する負荷である。従って 2 階窓を半分閉鎖して外壁化し、さらに 1 階小窓はその設置高さより採光に関係ないため、すべて閉鎖し外壁化するケースが⑨である。



内窓設置(樹脂製建具、Low-e 日射遮蔽型、ガス入り、10mm 程度)  $U=1.32W/m^2 K, \eta=0.47$



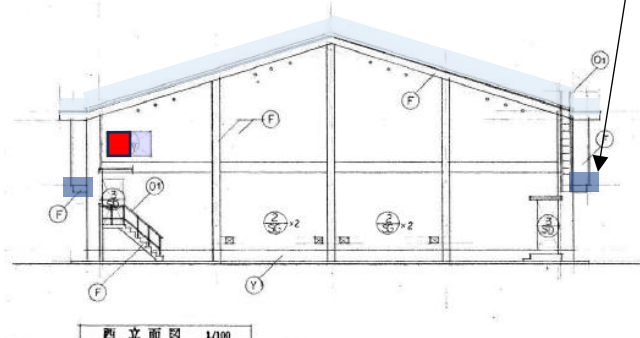
外壁化部分(壁化+周辺部分と同じ外断熱)  
※採光基準は用途地域や敷地境界線によるので、個別設計時に確認が必要



外壁:  
+外断熱ポリスチレンフォーム 100mm  
( $U=0.313W/m^2 K$ )

バルコニー床:  
+外断熱ポリスチレンフォーム 100mm  
( $U=0.313W/m^2 K$ )

体育館床:木の床組みのまま



#### (4) ZEB 化のための省エネ計算の試算分析

ベースケースと比較ケースの省エネ計算の試算結果を下表に示す。

	断熱パターン			空調パターン	冷房熱負荷 【削減率】	空調冷房能力 (室外機/室内機)	BEI			BPI
	屋根	窓	外壁				空調	照明		
①	断熱なし	断熱なし	断熱なし	ビルマル(超効率) +換気扇	129kW 【基準】	67kW×2 14kW×10	0.49	0.49	0.40	0.99
②	屋根外断熱 50mm	断熱なし	断熱なし	ビルマル(超効率) +換気扇	77kW 【▲40%】	45kW×2 11.2kW×8	0.35	0.35	0.40	0.83
③	屋根外断熱 100mm	断熱なし	断熱なし	ビルマル(超効率) +換気扇	74kW 【▲43%】	40kW×2 11.2kW×8	0.33	0.33	0.40	0.82
④	屋根外断熱 50mm	内窓設置 (すべての窓)	断熱なし	ビルマル(超効率) +換気扇	68kW 【▲47%】	40kW×2 9kW×8	0.33	0.32	0.40	0.77
⑤	屋根外断熱 100mm	内窓設置 (すべての窓)	断熱なし	ビルマル(超効率) +換気扇	65kW 【▲50%】	33.5kW×2 9kW×8	0.29	0.28	0.40	0.76
⑥	屋根外断熱 50mm	内窓設置 (すべての窓)	壁外断熱 50mm (建物全体)	ビルマル(超効率) +換気扇	52kW 【▲60%】	28kW×2 9kW×6	0.26	0.24	0.40	0.64
⑦	屋根外断熱 100mm	内窓設置 (すべての窓)	壁外断熱 100mm (建物全体)	ビルマル(超効率) +換気扇	47kW 【▲64%】	28kW×2 9kW×6	0.25	0.24	0.40	0.62
⑧	屋根外断熱 100mm	内窓設置 (すべての窓)	壁外断熱 100mm (建物全体)	ビルマル(超効率) +全熱交換	38kW 【▲71%】	22.4kW×2 7.1kW×6	0.21	0.19	0.40	0.62
⑨	屋根外断熱 100mm	内窓設置 + 50%壁化 (すべての窓)	壁外断熱 100mm (建物全体)	ビルマル(超効率) +全熱交換	35kW 【▲73%】	22.4kW×2 7.1kW×6	0.21	0.19	0.40	0.62

表 2.1-9 ベースケースと比較ケースの省エネ計算の試算結果  
照明はすべて LED(制御なし)にて試算

## 1) 熱負荷の内訳

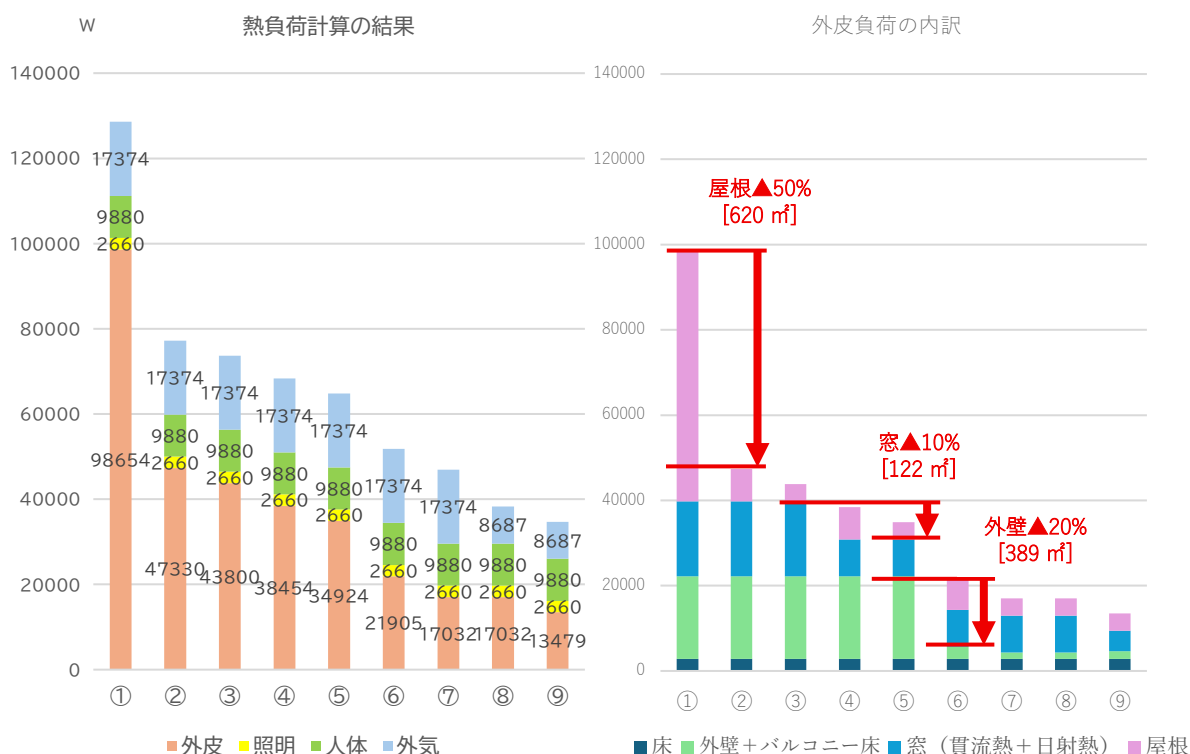


図 2.1-2 熱負荷計算の結果と外皮負荷の内訳

体育館の熱負荷は、外皮負荷、照明負荷、人体負荷、外気負荷の4つから構成される(機器負荷は考慮しない)が、大部分を外皮が占めていることが分かる。

なお、照明及び人体負荷は全ケース同条件のため一定で、外気負荷は全熱交換器を採用している⑧、⑨で半減している。

## 2) 外皮負荷の内訳

外皮負荷の削減状況を見てみると、屋根の外断熱を 50mm とする②の時点で冷房負荷は約 40%削減され、100mm とした③では約 43%削減となった。これは、体育館の建物形状で屋根面積が大きいことによる。さらに、全窓に内窓を追加した④・⑤では削減率が約 47~50%に達し、開口部対策が負荷低減に大きく寄与することが確認された。開口部は、ガラスの熱貫流率が外壁の熱貫流率に比較して大きいことに加え、夏季にガラスを通して日射熱が室内に侵入するため、外皮の大きな弱点になる。そのため、内窓を追加することで、開口部の断熱遮熱性能を向上させた成果であるといえる。これに外壁外断熱を加えた⑥・⑦では削減率が約 60~64%に向上し、外皮全体の断熱強化による効果が明確に表れた。

なお、外皮負荷の部位ごとの内訳をみると、断熱効果について、以下のことが明確になった。

### ①屋根>窓>壁の順に、面積当たりの断熱効果が高い

外皮負荷の削減内訳によると、「屋根断熱」が最も大きな削減割合(▲50%)あり、かつ面積当たりの削減効果(▲8%/㎡)も高い。

次に、「窓断熱」は面積が小さいため削減割合は小さい(▲10%)が、面積当たりの削減効果(▲8%/㎡)は「屋根断熱」と同等。

最後に、「外壁断熱」による削減割合は中位(▲20%)であるものの、面積当たりの削減効果(▲5%/㎡)は他に比べてやや低くなっている。

### ②断熱材の厚み変更より、建物全体をくるむ方が効果高い

「屋根断熱」の厚みを 50mm から 100mm にすると、更に外皮負荷が半減するが、削減割合は数%にとどまっており、他の「窓断熱」や「外壁断熱」を加えた場合に比べて効果が低いことが分かる。

### ③窓面積を削減するとさらに外皮負荷を削減できる

窓の一部外壁化を含む⑨では削減率が約 73%に達し、特に高所開口部の負荷抑制が一定程度貢献することが示された。しかし、一部外壁化をする際には、体育館アリーナ部分の自然採光の均一性や安定性、グレアなどについて十分な検討が必要であり、実装のハードルは若干高いと考えられる。

## 3)外気負荷

外皮強化に全熱交換器を組み合わせた⑧では、外皮負荷と同程度の熱負荷である外気負荷が半減し、冷房負荷は基準比約 71%削減となった。しかし、大空間かつ高天井の体育館に設置できそうな形態の全熱交換器の型式は非常に少なく、換気の有効性の妥当性の確認も難しい。従って、熱負荷削減の検討において一定の効果は確認できたが、実装のハードルは若干高いと考えられる。

これらの結果から、本体育館においては、①屋根断熱、②開口部の内窓化、③外壁の外断熱といった外皮性能の段階的強化が、空調機容量の縮減とエネルギー消費削減に対して高い効果を持つことが明らかになった。

#### 4)冷房負荷と暖房負荷の違い

体育館の暖房負荷は、どのケースでも冷房負荷より小さいため、夏季を優先した対策が重要であることが分かる。

また、⑥以降は壁の外断熱を行ったケースであり、冬の対策としては、外断熱が有効であることが分かる。

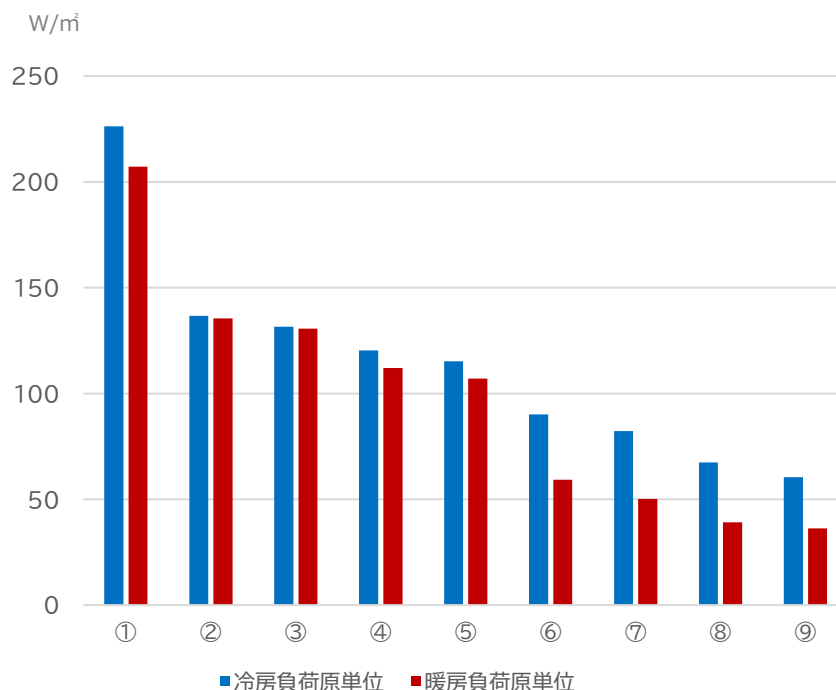


図 2.1-3 冷房および暖房負荷原単位

#### 5)ZEB 化手法実現上での条件や課題(コストや実施設計で検討が必要な事項)

・**屋根断熱の導入における留意点:**本マニュアルの「No.4 重点対策 2(屋根の断熱)」にも記載の通り、体育館の屋根は鉄骨造が大半であり、構造耐力(積載荷重)に余裕がない場合が多い。そのため、屋根断熱の手法(断熱材の種類や厚み、施工方法)を選定する際は、実施設計において既存屋根の積載可能な荷重を適切に把握(構造計算等による確認)した上で計画する必要がある。

・**換気設備の導入における留意点:**「No.12 換気の高効率化」に基づき本シミュレーションで想定した「壁付換気扇」の新設にあたっては、既存の外壁への穴あけ(コア抜き)が必要となる。既存建物の構造躯体に影響を与えないよう、実施設計段階において慎重な設置位置・ルートを検討と構造的影響の確認が不可欠となる。

## (5) ライフサイクルコストシミュレーション結果の分析

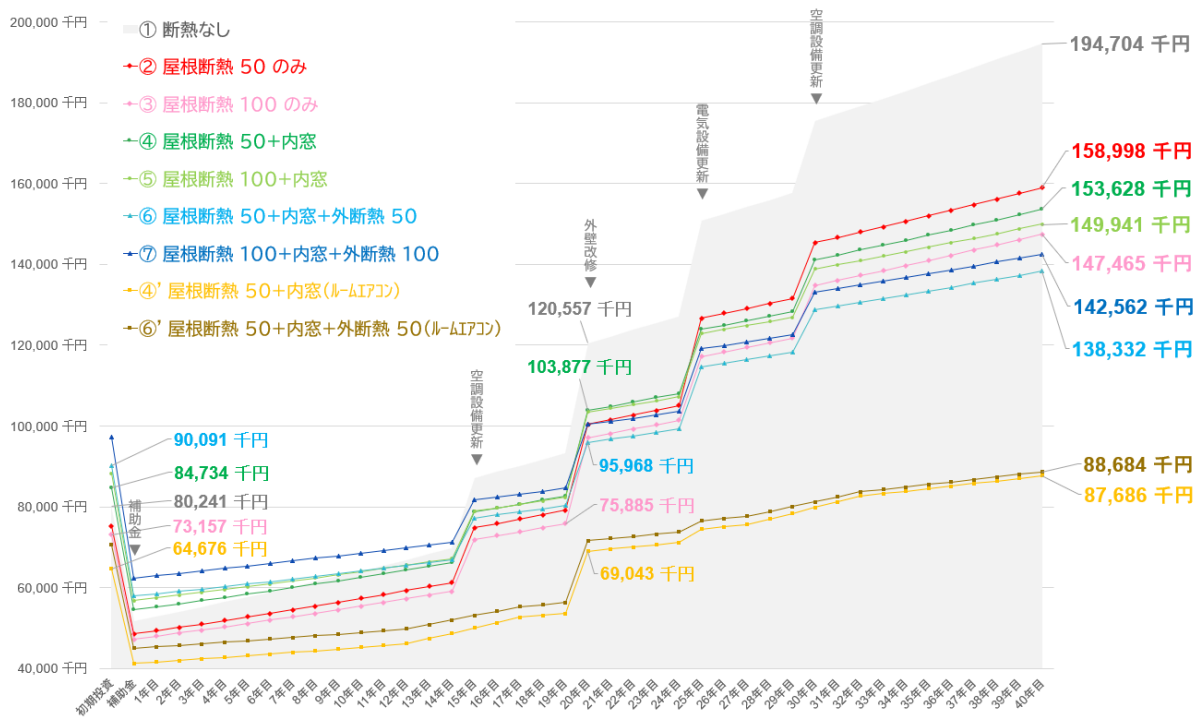


図 2.1-4 体育館の LCC グラフ

### 1) ライフサイクルコストの分析結果

本検証では、学校体育館を対象として、空調方式(ビル用マルチ、ルームエアコン)および断熱仕様の違いによる 40 年間のライフサイクルコスト(LCC)を比較した。短期(15 年間)と長期(40 年間)で最適な投資判断が異なる点が明確となった。

まず、初期～15 年間の LCC に着目すると、「屋根断熱のみ(②・③)」のケースが最も低コストとなり、「屋根断熱+内窓(④・⑤)」のケースは改修後7年～10 年で断熱なしの①よりも安くなり、ともに短期での費用対効果が高いことが確認された。

一方で、40 年間のトータル LCC では、屋根断熱に加えて外断熱まで施した高断熱化ケース(⑥・⑦)が最も低コストとなり、建物を長期的に利用する場合には高断熱化への投資が有利となる結果が得られた。

これらの結果に基づき、体育館の改修方針としては、学校の将来計画に応じて次の二つに大別して考える必要がある。

1. 長期使用が見込まれる施設については、40 年間の LCC 低減効果が最も大きい「外断熱まで含む高断熱化」を採用するのが合理的である。
2. 早期統合・再編の可能性がある施設については、空調設備の更新時期(概ね 15 年以内)までに投資回収が見込める「屋根断熱のみ(②・③)」または「屋根断熱+内窓(④・⑤)」などの低投資ケースを原則とする。

一方、空調方式にビル用マルチではなくルームエアコンを導入すれば、「屋根断熱+内窓+外断熱」を行う場合(⑥')においても、初期投資は最も安くなり、40年間のトータルコストも①の約半分まで削減できる(投資的経費に限ってみても6,000万円前後のコストダウンとなる)結果となった。現時点では、体育館などの大空間にルームエアコンを設置した実績はないものの、小規模な体育館などから試験導入するなど積極的な採用に向けた実証を踏まえて採用方針を決定することが望ましい。

なお、投資的経費については、いずれのケースも、2,000～万円前後の削減が見込まれるが、ルームエアコンの採用が実現されれば、7,000万円弱の削減になりうることを確認された。

	投資的経費		
	初期投資	更新費	計
①断熱なし	80,241	79,602	159,843
②屋根断熱	75,242 ▲ 5,000	65,687 ▲ 13,915	140,929 ▲ 18,914
③屋根断熱	73,157 ▲ 7,084	58,637 ▲ 20,965	131,793 ▲ 28,050
④屋根断熱+内窓	84,734 4,493	58,034 ▲ 21,568	142,768 ▲ 17,076
⑤屋根断熱+内窓	88,296 8,055	56,603 ▲ 22,999	144,900 ▲ 14,944
⑥屋根断熱+内窓 +外断熱	90,091 9,849	48,782 ▲ 30,820	138,872 ▲ 20,971
⑦屋根断熱+内窓 +外断熱	97,243 17,001	48,782 ▲ 30,820	146,025 ▲ 13,819
④' 屋根断熱+内窓 +ルームエアコン	64,676 ▲ 15,565	26,016 ▲ 53,587	90,691 ▲ 69,152
⑥' 屋根断熱+内窓 +外断熱+ルームエアコン	70,590 ▲ 9,651	23,485 ▲ 56,117	94,076 ▲ 65,768

表 2.1-10 投資的経費一覧表

## 2)「全熱交換機」と「窓の一部断熱化」について

一定の熱負荷の低減効果は確認されたものの、全熱交換機については、設置スペースなどの技術的な課題があることや、窓の一部断熱化については、40年間のライフサイクルコストでは最安とならなかったこと、さらに採光環境が大きく変わることに対する教育現場からの反響が未知数であることなどを踏まえて、今回は推奨仕様とはしない。

## (6) 体育館施設の改修工事における標準設計

これまでの検討により、体育館施設の改修工事における標準設計として採用が望ましい事項について、以下のとおり整理するが、詳細については、別途「大規模改修(長寿命化改修)工事の基本工事内容」に定める。

### ① 断熱仕様

長期使用が想定される通常校においては、40年間のLCC比較において最も有利となった「屋根断熱+内窓+外壁外断熱」を標準とする。

将来統廃合が予想される小規模校においては、次期の空調設備更新が到来する15年以内に投資回収が可能な「屋根断熱+内窓」を標準とする。

対象施設 (想定シナリオ)	標準仕様および備考
<p style="text-align: center;"><b>通常校</b> (長期使用 を想定)</p>	<p>「<b>屋根断熱+内窓+外壁外断熱</b>」を標準とする</p> <p>【<b>屋根断熱仕様</b>】 外断熱 押出法ポリスチレンフォーム(XPS) 保温板 3種 b 50mm 相当以上 ※参考U値:0.49 以下</p> <p>【<b>内窓仕様</b>】 樹脂サッシ・複層ガラス(Low-E1 枚、A12)相当以上 ※参考U値:1.63 以下(二重窓全体の値)</p> <p>【<b>壁外断熱仕様</b>】 外断熱 ビーズ法ポリスチレンフォーム(EPS)4号 50mm 相当以上 ※参考U値:0.65 以下</p> <p>・40年間のLCC比較において、トータルコストが最も有利となるため。</p>
<p style="text-align: center;"><b>小規模校</b> (将来の統廃合 を想定)</p>	<p>「<b>屋根断熱+内窓</b>」を標準とする</p> <p>【<b>屋根断熱仕様</b>】 外断熱 押出法ポリスチレンフォーム(XPS) 保温板 3種 b 50mm 相当以上 ※参考U値:0.49 以下</p> <p>【<b>内窓仕様</b>】 樹脂サッシ・複層ガラス(Low-E1 枚、A12)相当以上 ※参考U値:1.63 以下(二重窓全体の値)</p> <p>・次期の空調設備更新が到来する15年以内に投資回収が可能であり、初期投資の抑制を最優先とするため。</p>

表 2.1-11 体育館における将来計画に応じた推奨断熱仕様

## ② 空調設計における条件設定

空調設計の熱負荷計算における人体負荷、照明負荷および外気負荷については、下表のとおり設定することを標準とする。

なお、空調熱源(電気・都市ガス・LP ガス)の選定については、電気式とすることが望ましいが、電気容量の増大に伴う受変電設備および幹線設備の増強費用が大きくなる可能性を考慮し、(基本・)実施設計における LCC 比較によって決定する。

また、ルームエアコンの採用については、今後の実証結果等を受けて検討する。

熱負荷計算条件	備考
人体負荷	平常授業における学童・生徒および教諭の人数にて算定する(例:2 クラス+教諭 1 人など)代謝量 *盛夏における全校集会などの実施はない想定とする
照明負荷	LED 照明とし、実際の照明器具設置台数によるが、5W/m <sup>2</sup> 程度にて算定する
外気負荷	必要換気量は、20 m <sup>3</sup> /h・人とし、人体負荷算出時の人数により算出する 全熱交換器はなしとする

表 2.1-12 空調設計における熱負荷計算条件(体育館)

## ③ 設備仕様

換気設備や照明設備の仕様については、下表のとおりを標準とする。

設備種別	設備仕様および備考
換気設備	壁付換気扇とし、居住域(床上+3m 以内)を目安に設置する 排気量に見合う給気口を忘れずに設置する
照明設備	LED 照明とし、LED 型マルチハロゲン灯などを設計照度にあわせて設置する 高所設置になることが多いため、更新方法をあらかじめ想定する 照明制御はなしとする

表 2.1-13 換気・照明設備の標準仕様(体育館)

## (7) 設計意図の伝達事項

---

以下の項目について、書面等で施設管理者へ伝達する。

### ① 断熱や遮熱に関わる窓付属物の運用方法や窓開け換気のポイント

体育館は開口部面積が大きく、日射による熱負荷(特に夏季の冷房負荷)の影響を非常に受けやすい。そのため、冷房運転時は直射日光を遮るように、暗幕やブラインド等を適切に閉めることが省エネルギーに直結する。

また、従来の体育館は窓や出入口の扉を開放して自然換気を行うことが一般的であったが、空調稼働中にこれらを開放すると、大量の外気流入により空調効率が著しく低下し、消費電力の増大を招く。

したがって、冷暖房運転中は原則としてすべての窓と扉を閉めた状態とし、換気は新設した機械換気設備(壁付換気扇等)によって行うことを基本とする。

春秋の中間期などに窓開けによる自然換気を行う場合は、必ず空調を停止した上で実施するよう留意する。

### ② 空調機器(室外機・室内機・換気扇等)の運用方法

・熱源方式や空調方式、空調容量選定などにかかる設計意図(電気式の選択意図、同時使用人数、盛夏に大人数による使用を想定していないなど)を文書化し、設計意図を確実に伝達する。

・室外機の効率低下を防ぐために室外機の周囲に熱交換を阻害する物品などを設置しない。

・学校環境衛生管理マニュアルに基づき、換気扇のフィルターは概ね月1回、室内機のフィルターは1~2か月に1回程度清掃する。

・さらに、学校環境衛生管理マニュアルに基づき、空調機器、換気機器の点検を6か月に1回程度実施する。

### ③ 照明設備のメンテナンス方法

・LED照明かつ高所設置であるため、日常のメンテナンスはできないが、LED照明も光束維持率の低下により、寿命(約40,000時間)が存在することを文書化し、伝達する。